

**No English title available.**

Patent Number: DE10120947

Publication date: 2002-10-24

Inventor(s): FLEDERSBACHER PETER (DE); FINGER HELMUT (DE); LOEFFLER PAUL (DE); STUTE MANFRED (DE); KONRAD GERHARD (DE); SUMSER SIEGFRIED (DE)

Applicant(s): DAIMLER CHRYSLER AG (DE)

Requested Patent:  DE10120947

Application Number: DE20011020947 20010422

Priority Number (s): DE20011020947 20010422

IPC Classification: H01M8/02; F04D25/00

EC Classification:

Equivalents:  WO02086997

---

**Abstract**

---

The invention relates to a two-stage fuel cell air supply system with pure high-speed dynamic compressors, which bring particularly favourable installation space requirements for a vehicle application. In the majority of cases dynamic compressors of radial type are used. The low pressure compressor is driven by a high speed electric motor, which supplies the necessary electrical energy to the system, also supplying the high pressure stage, connected to a turbine as a free-wheeling unit which leads to a certain energy recovery from the originally supplied electrical energy. In addition to the intermediate cooling of both compressor stages, the adjustable blow-by device as a by-pass for the fuel cell has a particular role in guaranteeing the stability of the operation of the entire air supply system and prevention of pumping damage to the compressor at all operating points of the fuel cell.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 101 20 947 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 M 8/02  
F 04 D 25/00

DE 101 20 947 A 1

⑯ Aktenzeichen: 101 20 947.9  
⑯ Anmeldetag: 22. 4. 2001  
⑯ Offenlegungstag: 24. 10. 2002

⑯ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:  
Finger, Helmut, Dipl.-Ing., 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Fiedersbacher, Peter, Dipl.-Ing., 70619 Stuttgart, DE; Löffler, Paul, Dipl.-Ing., 70199 Stuttgart, DE; Konrad, Gerhard, Dr.-Ing., 70197 Stuttgart, DE; Stute, Manfred, Dipl.-Ing., 73730 Esslingen, DE; Sumser, Siegfried, Dipl.-Ing., 70184 Stuttgart, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Brennstoffzellen-Luftversorgung

⑯ Die Erfindung betrifft ein zweistufiges Brennstoffzellenluft-Versorgungssystem für einen hochtourigen Strömungsmaschinen, die für einen Fahrzeugeinsatz äußerst günstige Bauraumanforderungen mit sich bringen. Im überwiegenden Fall werden Strömungsmaschinen der radialen Bauweise hierzu eingesetzt. Der Niederdruckverdichter wird durch einen hochverdrehenden Elektromotor angetrieben, der die notwendige elektrische Energie in das System einspeist, wodurch auch die Hochdruckstufe entsprechend mitversorgt wird, indem sie als Freiläufer mit einer Turbine gekoppelt ist, die einen gewissen Energierückgewinn, auch der ursprünglich eingeleiteten elektrischen Energie, erzielen kann. Neben der Zwischenkühlung der beiden Verdichterstufen kommt der regelbare Umlasseeinrichtung als Bypass der Brennstoffzelle eine bedeutende Aufgabe zu, in dem sie für die Stabilität der Betriebsweise des gesamten Luftversorgungssystems, bzw. für die Vermeidung der Pumpgefahr der Verdichter in allen Betriebspunkten der Brennstoffzelle garantieren muß.

DE 101 20 947 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit Verfahrensabläufen der Regelung, hauptsächlich nach den Ansprüchen 1, 2 und 4, bzw. 9 bis 12, für ein Luftversorgungssystem von Brennstoffzellen.

[0002] Gegenüber den herkömmlichen Brennstoffzellen-Luftversorgungssystemen, die mit relativ niedertourigen Verdängerkompressoren ausgestattet sind, wird erfindungsgemäß eine zweistufige Verdichtung der Luft mittels reiner, sehr hochtourigen Strömungsverdichter vorgeschlagen.

[0003] Hierbei bietet sich bei Auslegungsgesamtdruckverhältnissen von über 3 an, Strömungsmaschinen einzusetzen, die ein Zentrifugalfeld erzeugen, wie z. B. die Radialverdichter es können, um hohe spezifische Arbeiten pro Bauvolumen zu bewerkstelligen.

[0004] Will man die Brennstoffzelle für den Fahrzeugantrieb vorsehen, kommt schon aus Gründen der Platzknappheit den hohen spezifischen Leistungen, bezogen auf den Bauraum, eine dominierende Bedeutung zu.

[0005] Bedient man sich der Analogie der Verbrennungsmotoren hinsichtlich der zeitlichen Entwicklungstrends, so sieht man, daß die Saugmotoren von den aufgeladenen Motoren Stück für Stück vollständig abgelöst werden und man dürfte erwarten können, daß auch die einfacher darstellbaren Niederdruck-Brennstoffzellen des Fahrzeugantriebs im Laufe der zukünftigen Entwicklungsphasen durch Brennstoffzellen mit höheren Eintrittsdrücken eine Verdrängung erfahren, um die gewünschten hohen Leistungen in den knappen Bauvoluminas unterzubringen.

[0006] Gegenüber den Verdängerverdichtern mit den hohen Druckpulsationen besteht bei den Strömungsverdichtern aufgrund der sehr großen Drehzahlunterschieden zu hohen Werten hin nicht nur Bauraumvorteile, sondern durch die kontinuierliche Durchströmung der Strömungsmaschinen ergeben sich auch sehr gute Bedingungen für einen geräuscharmen und besonders wirkungsgradgünstigen Betrieb.

[0007] Da dem Wasserstoffverbrauch der Brennstoffzelle für die effiziente Bewertung der Fahrleistung die gleiche Bedeutung zukommt als dem Kraftstoffverbrauch beim Verbrennungsmotor, wird der Optimierung des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems genau so eine große Bedeutung beigemessen, wie der Optimierung der Ladungswechseleffizienz des Kolbenmotors. Am Gesamtsystemwirkungsgrad der Brennstoffzelle kann das Luftversorgungssystem gut bis zu einem einem Drittel der Gewichtung ausmachen kann..

[0008] Wie aus der europäischen Patentanmeldung EP 1 009 053 A1 ersichtlich, wird dort ebenfalls eine zweistufige Aufladung der Brennstoffzelle vorgesehen, doch wird hier auf einen nachteiligen Verdängerlader abgehoben, der durch einen Elektromotor angetrieben wird. Die Wirkung bezüglich Geräusch und Wirkungsgraddefizit wird offensichtlich nicht berücksichtigt.

[0009] Des Weiteren wird in dieser Anmeldung die systemwirkungsgradgünstige Zwischenkühlung nicht erwähnt, obwohl dadurch Größenordnungen von bis 20% Wirkungsgradgewinn des Luftversorgungssystems leicht möglich werden.

[0010] Der Hinweis zur Abblasung über ein sogenanntes Überdruckventil nach der Hochdruckstufe gibt Anlass, den formulierten Stand der Technik als eine grobe Vorstufe zu deuten. Die positive Wirkung einer regelbaren wirkungsgradbeeinflussenden Umlasung und die entscheidende Bedeutung dieses regelbaren Elementes für den stabilen Betrieb der Brennstoffzelle, in dem es die Gefahr des Verdichterpumpens bei abgesenkten Durchsätzen verhindert, ist wohl nicht erkannt worden.

[0011] Die Aufgabe, ein platzsparendes, geräuscharmes und wirkungsgradgünstiges und in großen Durchsatzspannen stabil betreibbares Brennstoffzellen-Luftversorgungssystem zu erstellen, wird durch die Verwirklichung der Vorrichtung mittels der Ansprüche 1, 2, 3 und 4 als Ausgangsbasis wohl grundsätzlich ermöglicht. Entscheidend jedoch

5 für den erfolgreichen Betrieb der Vorrichtung ist die Umsetzung der Verfahrensansprüche 9 bis 12, die die vorteilhafte Regelung der Energieeinspeisung in den Elektromotor, die Regelung des Umlasventils genauso wie die der variablen Elemente im Bereich oder in der Turbine, charakterisieren.

[0012] Während im Anspruch 1 die Grundschaltung der beiden Strömungsverdichter als Reihenschaltung eines Niederdruckverdichters mit Elektroantrieb und eines Hochdruckverdichters mit einem Turbinenantrieb gegeben wird, bringt der Anspruch 2 eine Erweiterung des Systems über eine Umlasvorrichtung, die für eine stabile Betriebsweise der Strömungsverdichter bzw. des gesamten Luftversorgungssystems mit Brennstoffzelle garantieren kann.

[0013] Die Festlegung des Elektroantriebs bei der Niederdruckstufe, mit dem größtordnungsmäßig 2/3 der Gesamtleistung der beiden Verdichter-Stufen eingespeist wird, begründet sich aus der günstigeren Ausführung des Niederdruckverdichters mit größerem Raddurchmesser und damit

15 den geringeren Drehzahlforderungen an den Elektromotor. Mit einher gehen dabei die Radkanäle des Niederdruckverdichters, die unter diesen Randbedingungen unter Wirkungsgradgesichtspunkten besser gestaltbar sind als in der Hochdruckstufe, wobei der niedere Eintrittsdruck des Ver-

25 dichters vorteilhaft mit wirkt und bei den hier erzeugbaren Radbeschauflungen bessere Eigenschaften bzgl. der Pumpstabilität im niederen Massenstrombereich bietet, bzw. eine größere Verdichterkennfeldbreite ermöglicht. Dies wäre nicht der Fall, wenn die Energieeinspeisung über den Elektromotor in der Hochdruckstufe unter Voraussetzung der gleichen oberen Elektromotorendrehzahl erfolgen würde.

[0014] Der Räder des Freilaufers werden schon aus Wirkungsgradgründen mit geringem Durchmessern versehen (günstiger Kanalverlauf, geringere Spaltverluste) und sind

30 im allgemeinen bezüglich der maximalen Drehzahlen praktisch nicht eingeschränkt, da funktionsfähige Lagerungen von Turboladern der interessanten Grösse Drehzahlen bis 300 000 1/min schon heute seriennmäßig abdecken.

[0015] Prinzipiell wird der Betriebsbereich eines Strömungsverdichters durch die Pumpgrenze zu den niederen Massendurchsätzen und durch die Stopfgrenze zu den hohen Massendurchsätzen begrenzt.

[0016] Kritisch für die Massenstromspanne der Brennstoffzelle bzgl. dem Strömungsverdichter ist der Bereich der niederen Durchsätze, die im allgemeinen zu der erwähnten Pumpproblematik führen. Aus diesem Grunde wurde die Brennstoffzelle mit einer Bypass-Leitung parallel zur Brennstoffzelle mit einem regelbaren Ventil versehen. Hierdurch kann der Verdichtermassenstrom auch bei niedersten

55 Brennstoffzellendurchsätzen um den Umlassemassenstrom, der durch die Ventilöffnung und dem Druckverhältnis über das Ventil bestimmt ist, erhöht werden und auch bei relativ hohen Druckverhältnissen in den stabilen Betriebskennfeldbereichen der beiden Verdichter gehalten werden.

[0017] Der Anspruch 3 trägt den starken Verbesserungsmöglichkeiten des Systemwirkungsgrades auf einfachste Art durch eine Zwischenkühlung der beiden Verdichterstufen Rechnung. Größenordnungen von bis zu 20% sind bei hohen Massendurchsätzen, bzw. Drücken nach der ersten

60 Stufe leicht erreichbar. Im Vergleich zu den hohen Entwicklungsaufwendungen zur Verbesserung der Komponentenwirkungsgrade in den Maschinen, ist diese Maßnahme extrem kostengünstig, muß jedoch über einem gewissen not-

wendigen Bauraum bezahlt werden, wenn die Druckverluste nur unwesentlich zu Buche schlagen sollen.

[0018] Im Anspruch 4 wird auf variable Strömungsquerschnitte um und in der Turbine eingegangen, die über ein Verstellelement von der Regelung geführt werden können.

[0019] Wenn wir variable Strömungsquerschnitte um die Turbine ansprechen, so könnten dies Klappen oder Schieber sein, die vor oder auch nach der Turbine platziert sind und im wesentlichen eine Aufstaufunktion beinhalten. Nachteil ist jedoch die wirkungsgradschädliche Drosselwirkung der an die Aufstaudrücke angepassten Querschnitte. Ausgeschlossen werden sollte auch nicht der Einsatz von Abblaseventilen bei der hier durchgeführten Klassifizierung der betrachteten Variowemente um und in der Turbine, die sich ebenfalls über einen Aktuator an die elektronische Regelung anschliessen lassen.

[0020] Wirklich vorteilhaft wirksam hinsichtlich einer Effizienz und damit bzgl. Energierückgewinn sind jedoch erst die variablen Strömungsquerschnitte innerhalb der Turbine und zwar am besten die im allgemeinen direkt vor dem Turbinenrad angeordneten Vorleitgitter. Deren engste Kanal-Querschnitte werden durch dreh- oder translatorische Bewegungen der Leitschaufeln verändert. Hierdurch wird nicht nur die engste Durchströmfläche verändert, sondern auch die Zuströmrichtung zum Turbinenrad, wodurch der Wirkungsgrad der Turbine, bzw. der Energierückgewinn und damit auch der Wirkungsgrad des Gesamtsystems merklich beeinflußt werden kann. Der variablen Turbine kommt im Rahmen der Verfahrensansprüche eine sehr große Bedeutung zu, da damit die gewünschten Prozesseintritsdrücke der Brennstoffzelle im Verbindung mit den Verdichterstufen genau und wirkungsgradgünstig einregelbar sind.

[0021] Da das Austrittsprodukt der Brennstoffzelle Wasserdampf und Luft darstellt, macht es aus energetischer Sicht Sinn den Kondensator nach der Turbine zu plazieren, wie aus dem Anspruch 5 zu entnehmen ist. Die Trennung von Luft und Wasser wird durchgeführt, wobei eine Weiterverwertung des Wassers sich anbietet.

[0022] Die Nutzung des Wassers ist für Kühlzwecke von Komponenten, z. B. den Elektromotoren, genauso denkbar wie für die Scheibenwaschanlage. Bei Sonderanwendungen, z. B. bei Fahrzeuge für den Wüsteneinsatz, ließe sich das Wasser auch einer Trinkwasser-Aufbereitungsvorrichtung zuführen. Bei Camping-Fahrzeugen wäre das konditionierte, bzw. unkonditionierte Wasser zum Kochen oder auch für Wasch-, bzw. Toilettenzwecke nutzbar. Unabhängig von der Nutzung des erzeugten Wassers liesse sich das gesamte oder zumindest ein Teil davon in einem Tank abspeichern, bevor über die Weiterverwendung entschieden wird.

[0023] Um innerhalb des Kondensators einen vorteilhaften Unterdruck zur Entwässerung zu bewirken, könnte am Kondensatoraustritt der Luftseite in Verbindung mit der Wasserseite ein entsprechender Diffusor Nutzen bringen. Der Erosionsgefahr am Turbinenrad durch Wasserschlag, im besonderen im Radeintrittsbereich, kann durch verschleißfeste Werkstoffe der Räder oder Oberflächenbeschichtungen entgegen werden. Da die Temperaturschwankungen in der Turbine nicht sonderlich hoch sind, ist der Einsatz von Keramiken als Radwerkstoff oder Beschichtungsmaterial in diesem Zusammenhang von der Rissanfälligkeit der Keramiken völlig unkritisch.

[0024] Ein Grundproblem der zugeführten Luft zur Brennstoffzelle ist deren Reinhaltung von den benachbarten Lagerschmierstoffbereichen der Kompressoren. Der Anspruch 6 und 7 weist auf eine Entkopplung der Brennstoffzellenluft vom Schmierstoffbereich der Lagerungen hin, in dem ein Puffervolumen oder Trennraum dazwischen angeordnet wird, der zumindest unter Umgebungsdruck oder so-

gar unter einem Überdruck steht und somit eine Sperrwirkung für den Schmierstoffeintrag erbringen kann. Um den Öleintrag letztlich auszuschließen ergibt eine Druckbeaufschlagung des Puffervolumens ein Sperrluftstrom durch die berührungsfreien Lagerabdichtungen entgegen der möglichen Schmierstoffaustritsrichtung in das Lagergehäuse hinein.

[0025] Das Problem des Schmierstoff-Eintrags in die Brennstoffzellen-Luft besteht bei ölfreien Lagerungen nach 10 Anspruch 8 nicht mehr. Die Entwicklungen von Luft- und noch mehr bei Magnetlagerungen bedeuten jedoch noch einen sehr hohen Entwicklungsaufwand, deren Anstrengungen erst bei zukünftigen Brennstoffzellen-Luftversorgungssystemen Früchte tragen werden.

[0026] Dem Verfahrensanspruch 9 kommt eine besondere Bedeutung für den stabilen Betrieb der Brennstoffzelle von der Luftversorgungsseite zu. Ein charakteristisches Merkmal der Strömungsverdichter ist die zu kleinen Durchsätzen auftretende schon erwähnte Instabilitätsgrenze. Um die geforderten Durchsatzspannen der Brennstoffzelle zu garantieren

20 wird die Umblaseeinrichtung des Bypasses ab einem gewissen unteren Durchsatzwert aktiviert und stufenlos im engsten Querschnitt des Ventils an den Luftbedarf der Brennstoffzelle über die Regelung angepaßt. Somit kann der Durchsatzpunkt, bzw. Verdichteraustrittsdruck im Verdichterkennfeld nahe der Pumpgrenze mit bestimmten Toleranzen im Zusammenspiel mit der Dosierung der elektrischen Energiezufuhr zum Niederdruckverdichter-Antrieb gehalten werden, obwohl der Durchsatz der Brennstoffzelle entsprechend dem Bedarf weiter abnimmt. Je näher an die Pumpgrenze herangefahren wird, um so geringer wird die notwendige Umblasemenge, bzw. die Wirkungsgradrücknahme zur Garantierung der stabilen Betriebsweise sein. In einer Verfeinerung des Systems kann es Sinn machen die Verdichter

35 mit einer Pumpsonderik zu versehen, die mit der Regelung verkoppelt ist, wodurch auch die Verbrauchsoptimierung der Zelle weiter erleichtert wird.

[0027] Der Anspruch 10 betrifft die Variabilität der Strömungsquerschnitte nach dem Brennstoffzellen-Ausgang in Verbindung mit dem gewünschten Prozess-Eintrittsdruck der Brennstoffzelle. Sinnvollerweise wird man den variablen engsten Strömungsquerschnitt in die Turbine direkt vor das Turbinenrad mittels eines beweglichen Vorleitgitters legen, um einmal die notwendige Aufstaufwirkung für das durchströmende Luft-/Dampfgemisch erzeugen zu können und zum andern wirkungsgradgünstig auf die Rückgewinnung der an der Turbine anstehenden Exergie einzuwirken, um den Hochdruckverdichter effizient anzutreiben und damit Einsparungen bei der elektrischen Energie-Einspeisung am Niederdruckverdichter zu erzielen.

[0028] Auf die Einregelung des maximal möglichen Expansionsdruckverhältnisses der Turbine geht der Anspruch 11 ein. Im Hintergrund dieses Regelungsanspruches steht die vorteilhafte Vorstellung, daß der engste Strömungsquerschnitt des gesamten Systems im überwiegenden Betriebsbereich der Brennstoffzelle innerhalb der Turbine liegen soll. Das bedeutet, daß der Massenstrom der Brennstoffzelle hierdurch über die variable Turbine im Zusammenspiel mit der Niederdruck-Energie-Einspeisung bestimmt und maßgebend mitgeregelt wird. Durch dieses Verfahrensmerkmal der Turbinenquerschnittsregelung wird im Bereich der Pumpgrenze auch die Umblaseregelungsphilosophie aus dem Anspruch 9 angesprochen. Durch die Einstellung der maximal möglichen Expansionsdruckverhältnisse an der Turbine wird im besonderen bei den niederen Durchsätzen auch eine weitgehende Entdrosselung am Umlasventil erreicht, wodurch diese Querschnitte entsprechend der Umlasemenge relativ groß eingeregt werden und die Verluste

damit gering bleiben.

[0029] Das Thema Anfahren, bzw. Starten der Stromerzeugung der Brennstoffzelle steht unmittelbar mit dem Starten dessen Luftversorgungssystems in Verbindung, die der Anspruch 12 von der Verfahrensseite her betrachtet. Das Hauptmerkmal stellt die Energieeinspeisung zumindest teilweise aus dem Stromspeicher in den Elektromotor des Niederdruckverdichters dar, der das Gesamtsystem damit anschließen kann. Der Freiläufer kommt dann ebenfalls über die in Druckenergie umgewandelte Energie vor der Turbine und der folgenden Expansion in der Turbine in Gang. Falls eine Varioturbine vorliegt, kann es Sinn machen, den engsten Querschnitt der Turbine in der Anfahrphase zu kleinen Werten hin zu schließen, wodurch der Freiläufer an der indirekten aerodynamisch gekoppelten Energieumwandlung vom Niederdruckverdichter, bzw. Elektromotor stark profitieren kann. Eine anfängliche weite Öffnung des Umblasventil sorgt ebenfalls für eine schnelle Einbeziehung des Freiläufers in die Energieumwandlungskette, wodurch auch der schnelle Hochlauf des Freiläufers bei nahezu geschlossenem Leitgitter der Turbine eine starke Unterstützung erfährt. Diese Verfahrensschritte des Zusammenspiels zwischen der Energiequelle, bzw. dem Niederdruckverdichter, der Umblaseeinrichtung und der Varioturbine wird sich nicht nur auf die Startphase beschränken, sondern wird in analoger Form bei jedem Lastwechsel der Zelle in mehr oder weniger verstärkter Weise an den betreffenden Stellgliedern bei dem Regelungsvorgang der genannten Komponenten wiederholen. Als wichtigste zeitliche Ergebnisse dieses Regelungslaufs während der Anlauf- oder der Lastwechselphasen sind die schnelle Erzeugung der optimalen Zustandsdaten wie Druck und Temperatur der Luft, die in den Eintritt der Brennstoffzelle strömt und mit diesem Zustand die chemische Reaktion in der Brennstoffzelle zwischen Wasserstoff und dem Luftsauerstoff optimal unterstützt und dafür mit garantiert, daß die mechanische Haltbarkeit der sensiblen Teile, wie z. B. die Membran, nicht gefährdet werden.

[0030] Ein Großteil der Merkmale des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems läßt sich aus der Prinzipschaltungsskizze Fig. 1 entnehmen.

[0031] Aus der Umgebung wird gefilterte Luft durch den Niederdruckverdichter (14) mit dem Zustand 1 angesaugt. Das Verdichterrad des Niederdruckverdichters (14) steht über eine Antriebswelle (15) mit dem Elektromotor (11) in Verbindung, der das wesentliche Aggregat darstellt, um Energie über den Niederdruckverdichter in die Luftströmung und damit in das gesamte System der Brennstoffzellen-Luftversorgung einzuspeisen. Die Energiezuführung erfolgt entweder direkt aus der Brennstoffzelle (10) oder aus dem Stromspeicher (13) über die Kabel (12). Der totale Zustandspunkt 2 nach dem Niederdruckverdichter ist praktisch durch diese Einspeise-Energiemenge des Elektromotors geprägt.

[0032] Ein Element, das in der Übersichtsskizze nicht eingezeichnet ist, ist ein Zwischenkühler, der auf jeden Fall eingesetzt wird, wenn der Wasserstoffverbrauch hinsichtlich niedriger Verbräuche optimiert werden soll. Zum andern kann es eine Notwendigkeit sein, daß die Eintrittstemperatur der Zelle unterhalb eines Wertes bleiben muß, um die mechanische Haltbarkeit der Membran nicht zu gefährden. Die Zwischenkühlung führt zu einer Begünstigung einer reduzierten Leistungsaufnahme des Hochdruckverdichters (16), da die Leistungsaufnahme direkt proportional zu dessen Eintrittstemperatur ist. Eine Kühlung nach dem Hochdruckverdichter (16) mit dem Zustandspunkt 2 wird bei den gängigen Stufendruckverhältnissen als weniger sinnvoll erachtet und dürfte nur dann in Betracht gezogen werden, wenn

eine Zwischenkühlung aus bestimmten Gründen nicht möglich ist oder die Druckverhältnisse doch sehr hoch sein sollen und ein Temperaturschutz der Zelle deshalb notwendigerweise durchgeführt werden muß. In wieweit ein Wärmetauscher, der zwischen dem Nieder- und Hochdruckverdichter (14, 16) oder nach dem Hochdruckverdichter (16) platziert wird, mit einem Kühlmedium beaufschlagt wird, das aus dem Kondensatoraustritt ausströmenden Medien Luft-Wasser stammt, hängt im wesentlichen von den energetischen Verhältnissen Kühlmedium zu zu kühlender Luft, den Randbedingungen und den Optimierungszielsetzungen ab. [0033] Nach dem Hochdruckverdichter (16) und noch vor dem Eintritt in die Brennstoffzelle (10), folgt die für die Funktion des Gesamtsystems entscheidende Verzweigung, aus der der Umblaskanal (23) eine Verbindung zum Austrittskanal (24) der Brennstoffzelle bildet. Im Umblaskanal, bzw. dem Brennstoffzellen-Bypass, ist ein regelbares Ventil (19) eingebaut, das je nach Verdichterkennfeldpunkt im Bereich der Pumpgrenze eine gewisse Öffnung erfährt, damit der Massenstrom durch die Verdichter größer ist als der Brennstoffzellen-Luftstrom. Hierdurch wird ein Pumpen der Verdichter ausgeschlossen. [0034] Das Luft-Dampfgemisch in der Austrittsverrohrung (24) und der Bypass-Massenstrom führen dann zum Zustandspunkt 3 vor der Turbine (17), die auch variable Elemente beinhalten kann, die mittels einer Betätigungsseinrichtung (20) von einer Regelung (22) angesprochen werden. [0035] Die Turbine (17) ist für eine effiziente Energierückgewinnung verantwortlich und treibt über die Welle den Hochdruckverdichter (16) an. Der Gefahr der Erosion durch Wassertropfeneaufschläge an der Eintrittsbeschauflung des Turbinenrades wird ggf. durch Einsatz von verschleissfesten Werkstoffen entgegen gearbeitet. [0036] Eine wichtige Entwicklungsaufgabe ist, wie schon erwähnt, die Garantierung der Ölfreiheit der Brennstoffzellen-Luftversorgung, die neben weiterentwickelten Abdichtkonzepten herkömmlicher Lagerungen (18) auch Lagerungen (18) mit völliger Ölfreiheit, wie z. B. Luft- oder Magnetlagerungen in Zukunft interessant werden lassen. [0037] Nach der Turbine (17) erfährt das Gemisch Luft-Wasser dampf-Wasser den temperaturreduzierten Zustandspunkt 4 vor dem Kondensator (21). [0038] Im Kondensator (21) erfolgt die Trennung der Wasseranteile von der Luft, die dann über eigene Austrittsöffnungen des Kondensators 5L und 5W in das nachfolgende Austrittsrohrsystem der Luftversorgungseinrichtung wegströmen. Im Austrittsrohrsysten können sich Elemente befinden, die für einen Unterdruck des Kondensators sorgen und für die Weiternutzung des Kondensats zuständig sind. [0039] Der Kernintelligenz zur Nutzung des Brennstoffzellen-Luftsystems steckt im Regler (22), der die drei regelbaren Komponenten: Elektromotor mit den Signalen (31), das Umblasventil (19) mit den Signalen 32 und ggf. die Variolelemente bzgl der Turbine (17) mit den Signalen (33) im Zusammenspiel optimal führen soll. Wie bei den Verbrennungsmotoren üblich, wird der Regler (22) auch bei der Brennstoffzelle dazu im allgemeinen mit hinterlegten elektronischen Daten versehen, um bei den angefahrenen Betriebspunkten eine optimale Einstellung, bzw. Kombination der betreffenden Aktuatorpositionen zu bewirken.

#### Nummernverzeichnis der Fig. 1

- 1 Strömungsverdichter mit Elektroantrieb, Eintrittsebene
- 2 Strömungsverdichter mit Elektroantrieb, Austrittsebene
- Eintrittsebene Zwischenkühler/Eintrittsebene Strömungsverdichter des Freiläufers
- 2 Strömungsverdichter des Freiläufers, Austrittsebene Ein-

trittsebene Brennstoffzelle	
3 Eintrittsebene Turbine (Starrturbine mit oder ohne Abblasvorrichtung oder Varioturbine)	
4 Austrittsebene Turbine ggf. Eintrittsebene Kondensator	
5L Austrittsebene Kondensator Luft	5
5W Austrittsebene Kondensator Wasser	
10 Brennstoffzelle	
11 Elektromotor	
12 Elektroleitung zur Brennstoffzelle, Stromspeicher	
13 Stromspeicher, Akku	10
14 Strömungsverdichter von Elektromotor angetrieben	
15 Strömungsverdichter-Radrücken, Verbindungsteil zur Lagerung	
16 Strömungsverdichter Freiläufer	
17 Turbine Freiläufer (Starrturbine mit oder ohne Abblasvorrichtung oder Varioturbine)	15
18 Rotorlagerung (Kugellagerung, Gleitlagerung, Luftlagerung, Magnetlagerung)	
19 Umblaseventil zwischen nach Hochdruckverdichter mit vor Turbineneintritt	20
20 Betätigung der Variovorrichtung der Turbine	
21 Kondensator	
22 Regelung des Luftversorgungssystems	
23 Verbindungsleitung nach Hochdruckverdichter zu vor Turbineneintritt	25
24 Austrittsverrohrung der Brennstoffzelle zur Turbine	
25 Austrittsverrohrung des Niederdruckverdichters	
30 Freiläufer: Strömungsverdichter mit Turbine über starre Welle verbunden	
31 Signal für die Energiezuteilung aus Brennstoffzelle und/ oder Stromspeicher des Elektromotors	30
32 Signal für Schliess-/Öffnungs-Position des Umblaseventil-Aktuators	
33 Signal für den Aktuator des Vario-Elements der Turbine	35

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen mit Kompressoren dadurch gekennzeichnet, daß ein Strömungsverdichter (14) niederdruckseitig mit einem Elektromotor (11) verbunden ist und daß ein weiterer in Reihe nachgeschalteter Hochdruckverdichter (16) der Strömungsmaschinenbauart mit einer Turbine (17) als Freiläufer (30) fest gekoppelt ist, die mit der Austrittsverrohrung (24) der Brennstoffzelle (10) verbunden ist.
2. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Hochdruckverdichter (16) vor der Brennstoffzelle (10) eine Verbindungsleitung (23) zur Austrittsverrohrung (24) der Brennstoffzelle (10) führt, in die ein regelbares Ventil (19) eingebracht ist.
3. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Niederdruckverdichter (14) in der Austrittsverrohrung (25), die zum Hochdruckverdichter führt, ein Zwischenkühler plaziert wird.
4. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich um die Turbine (17) des Freiläufers (30) oder innerhalb der Turbine (17) variable Elemente bzgl. der Strömungsquerschnitte vorliegen, die über die Betätigungsseinrichtung (20) mit einer Regelung koppelbar sind.
5. Vorrichtung zur Luftversorgung von Brennstoffzellen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß nach der Turbine (17) ein Kondensator (21) angeordnet ist, der einen Ausgang für das Wasser (W) und einen

- Ausgang für die Luft (L) aufweist und daß an den Ausgängen (W, L) Vorrichtungen zur Unterdruckerzeugung anschließbar sind.
6. Niederdruckverdichter und Elektromotor nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß ein abgedichteter Trennraum zwischen dem Schmierstoffbereich der Lagerung des Niederdruckverdichters (14) und Elektromotors (11) zum Verdichterbereich der Luftstromförderung besteht, der zumindest unter Umgebungsdruck oder einem Überdruck für eine Sperrluftbeaufschlagung steht.
  7. Hochdruckverdichter und Rotorlagerung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß ein Trennraum zwischen dem Schmierstoffbereich der Lagerung (18) des Freiläufers (30) zum Verdichterbereich der Luftstromförderung des Hochdruckverdichters (16) besteht, der zumindest unter Umgebungsdruck oder einem Überdruck für eine Sperrluftbeaufschlagung steht.
  8. Lagerung Niederdruckverdichter, Freiläufer nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß von den Lagerungen des Niederdruck- oder Hochdruckverdichters zumindest die Lagerung (18) nach den Merkmalen einer Lufl- oder Magnetlagerung ölfrei gestaltet ist.
  9. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung dadurch gekennzeichnet, daß der bekannte Soll-Massenstrom der Brennstoffzelle über die Energiezufuhr zum Elektromotor (11) mittels der Signale (31) in Verbindung mit der geregelten Einstellung der Schließ-/Öffnungspositionen des Umblaseventils (19), bzw. Bypass-Stroms der Brennstoffzelle, entsprechend der Signale (32) des Reglers (22) eingestellt wird und dabei von der Sensibilität des Regelungssystems her auch Betriebslinien, bzw. Betriebspunkte im Verdichterkennfeld sehr nahe der Instabilitätsgrenze (Pumpengrenze) erlauben.
  10. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung dadurch gekennzeichnet, daß der variable engste Querschnitt im Bereich um die Turbine (17) oder innerhalb der Turbine (17) entsprechend dem vorhandenen Massenstrom und der Turbineneintrittstemperatur mittels der Betätigungsseinrichtung (20) in Abhängigkeit vom Regelungssignal (33) derart geregelt verändert wird, daß sich der Soll-Eintrittsluftdruck der Brennstoffzelle (17) einstellen kann.
  11. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung dadurch gekennzeichnet, daß der variable engste Querschnitt im Bereich um die Turbine (17) oder innerhalb der Turbine (17) entsprechend dem vorhandenen Massenstrom und der Turbineneintrittstemperatur mittels der Betätigungsseinrichtung (20) in Abhängigkeit vom Regelungssignal (33) derart geregelt verändert wird, daß sich das maximal mögliche Expansionsverhältnis über der Turbine (17) einstellen kann.
  12. Verfahren zur Regelung einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2 und 4 zur Brennstoffzellen-Luftversorgung dadurch gekennzeichnet, daß der Anfahr-/Startvorgang oder Lastwechselvorgang des Brennstoffzellen-Luftversorgungssystems zumindest teilweise über die elektrische Energiezufuhr aus dem Stromspeicher (13) zum Elektromotor (11) und damit der Leistungszumessung des Niederdruckverdichters mittels der Signale (31) erfolgt, dabei die Einstellungen der Schließ-/Öffnungspositionen des Umblaseventils (19), bzw. Bypass-Massenstroms der Brennstoffzelle, entsprechend der Signale

(32) des Reglers (22) durchgeführt werden,  
und ggf. der variable engste Querschnitt des Start- oder  
Lastwechselzustandes um oder in der Turbine (17) mit-  
tels der Signale (33) des Reglers (22) derart beeinflußt  
werden, daß die Bereitstellung der notwendigen Pro-  
zess-Eintrittsdrücke und Prozess-Eintrittstemperaturen  
in der Brennstoffzellen-Start-/Lastwechsel-Phase ge-  
geben ist. 5

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

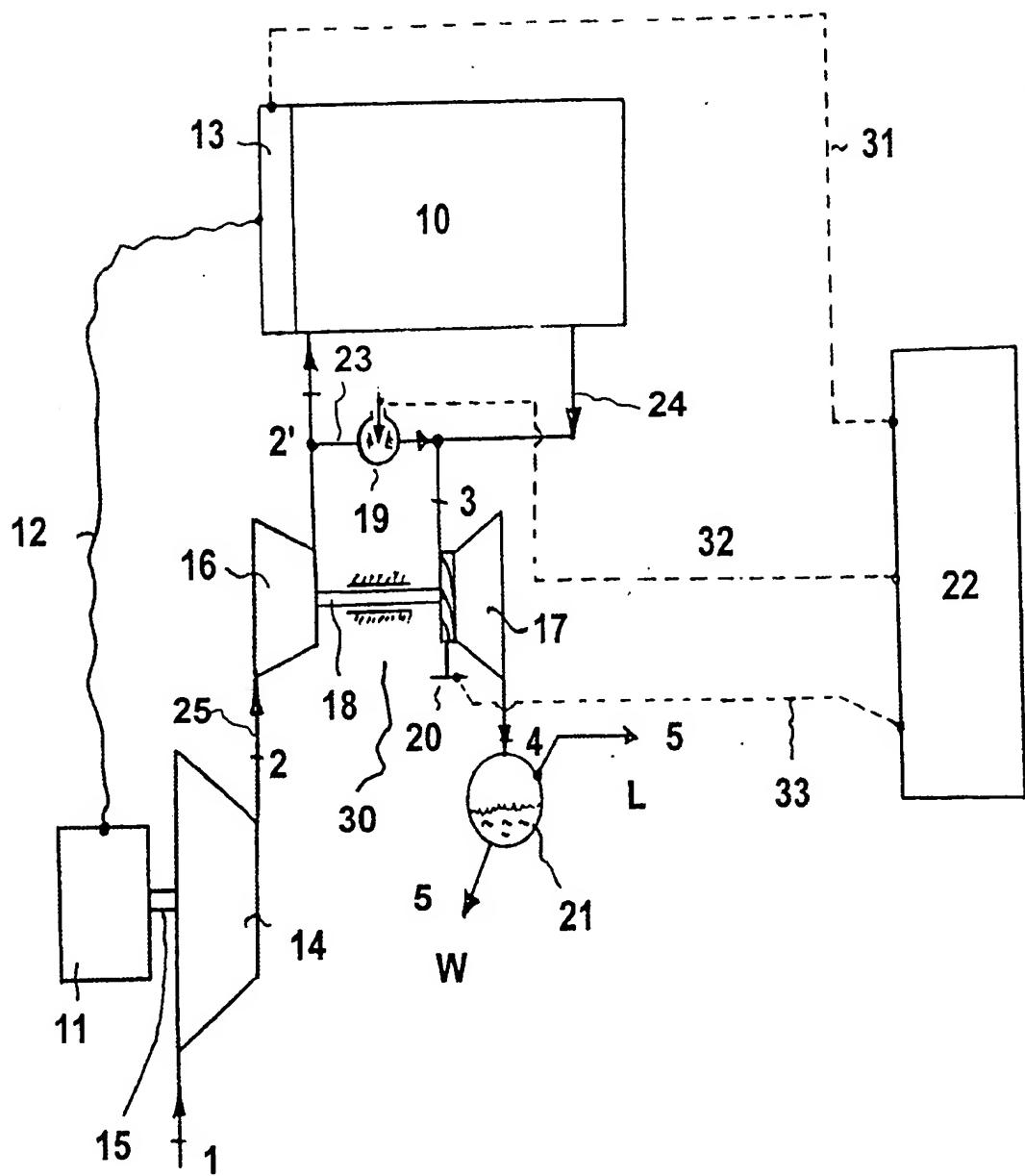


Fig. 1